

电工技术 (下册) 与电子技术

唐庆玉 编著



清华大学出版社

电工技术 (下册) 与电子技术

唐庆玉 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

《电工技术与电子技术》分上、下两册。上册内容是:电路理论及分析方法,正弦交流电路,三相电路,周期性非正弦波形,电路的暂态分析,磁路与变压器,电动机,继电器控制,可编程控制器(介绍西门子 S7-200 型 PLC),Multisim 电路仿真。下册内容是:半导体器件,晶体管交流放大电路,集成运算放大器及其应用,功率放大电路,直流稳压电源,晶闸管及其应用,数字电路基础,组合逻辑电路,时序逻辑电路,多谐振荡器和单稳态触发器,A/D 转换器和 D/A 转换器,半导体存储器,可编程逻辑器件(PLD,CPLD),模拟电路和数字电路的 Multisim 仿真。

作者主讲的电工学课程于 2003 年被评为北京市精品课程,本书是作者多年从事电工学教学实践和教学改革经验的总结,可作为高等学校非电类专业电工学课程的教科书,也可作为工程技术人员参考书和培训用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电工技术与电子技术.下册/唐庆玉编著. —北京:清华大学出版社,2007.9
ISBN 978-7-302-16026-7

I. 电… II. 唐… III. ①电工技术 ②电子技术 IV. TM-TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 133538 号

责任编辑:张占奎

责任校对:焦丽丽

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25.25 字 数:577 千字

版 次:2007 年 9 月第 1 版 印 次:2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:35.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:024481-01

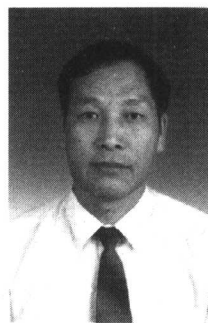
作者简介

唐庆玉,1945年生,1970年毕业于清华大学工程化学系,1983年获清华大学电机系硕士学位,1988—1990年在美国亚特兰大佐治亚理工学院做访问学者。

现任清华大学电机系教授,清华大学电机系电工学教研室主任,电工学课程负责人。

主要社会学术兼职有:中国电子学会高级会员,中国电子学会生物医学电子学分会理事,中国仪器仪表学会医疗仪器分会理事,中国电工学研究会理事。

从1978年起一直从事电工学基础课的教学和生物医学工程方面的科研及教学工作,发表科研和教学研究论文80余篇,出版教材3部,获得国家专利2项,获得省、部级科研和教学成果奖多项。



前言

《电工技术与电子技术》下册是电工学Ⅱ电子技术部分,包括模拟电子技术(第11章~第16章)、数字电子技术(第17章~第23章)、模拟电路和数字电路的计算机仿真(第24章)三部分内容。

模拟电子技术部分共有6章。第11章介绍半导体二极管、稳压二极管、双极型晶体管和场效应管的结构和特性。第12章介绍由双极型晶体管和场效应管组成的交流放大电路,对两种分析方法,即估算法和图解法并重介绍,并加强了场效应管交流放大电路分析方法的介绍。第13章介绍运算放大器及其应用。第14章讨论功率放大器OTL电路和OCL电路原理以及集成功放模块。第15章讨论二极管整流电路、电容电感滤波电路、串联型稳压电源、开关型稳压电源的原理以及集成稳压模块。第16章着重介绍晶闸管可控整流电路及单结晶体管触发电路,对双向晶闸管交流调压、可关断晶闸管逆变电源也作了简要介绍。

数字电子技术部分共有7章。第17章介绍逻辑函数的逻辑代数化简法和卡诺图化简法,以及集成TTL门电路和CMOS门电路。对于集成电路,重点讨论外部引脚的功能,而不是内部逻辑组成。第18章着重介绍多种集成TTL组合逻辑电路。第19章在介绍触发器的基础上,讨论了由触发器构成的寄存器和计数器的原理,并讨论了集成寄存器和计数器的应用。对于由触发器构成的时序逻辑电路,讨论的重点是分析,而不是设计。第20章在介绍由门电路构成的多谐振荡器和单稳态触发器的基础上,着重介绍集成多谐振荡器和单稳态触发器。第21章在讨论D/A转换器和A/D转换器原理的基础上,着重介绍了集成D/A转换器和A/D转换器的应用。第22章在讨论了各种只读存储器和随机存取存储器原理的基础上,着重介绍各种集成存储器及存储电路的扩展方法。第23章在讨论各种PLD电路原理的基础上,着重讨论常用的GAL电路的结构和应用,对复杂可编程逻辑器件(CPLD)和现场可编程门阵列(FPGA)也作了简要介绍。

笔者长期从事医用电子仪器的科研工作,书中许多内容、例题和习题都源于科研成果,例如书中利用运算放大器的电平转换电路、仪用放大器的应用、直流电机的可控硅调速、用D/A转换器构成的函数

发生器、A/D 转换器与微机的接口、存储器的扩展、PLD 的应用等方面的一些内容、例题和习题都取自于科研中的实例。

本书参考美国 1999—2002 年有关教材(参考文献 6~11),每章都在传统内容的基础上补充了许多新内容。例如,第 16 章补充了硅单向开关和双向触发二极管等新型触发器件,第 18 章补充了数字乘法器,第 21 章补充了采样保持器和模拟多路开关,第 22 章补充了可电擦除的只读存储器(E^2 PROM)和闪速存储器(Flash memory),第 23 章补充了复杂可编程逻辑器件(CPLD)和现场可编程门阵列(FPGA)。

本书第 11~23 章都配有思考题、中文习题和英文习题,计算机仿真习题集中于第 24 章,其中英文习题的电路图采用了美国习惯画法,以方便读者阅读文献资料。

为提升教学质量与效果,与本书配套的习题解答、中文电子课件和英文电子课件将持续出版。

鉴于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者予以指正,不胜感谢。

唐庆玉

2007 年 7 月于清华园
tangqy@tsinghua. edu. cn

目 录

第 11 章 半导体器件	1
11.1 半导体基本知识	2
11.1.1 本征半导体	2
11.1.2 P 型半导体和 N 型半导体	3
11.2 二极管	3
11.2.1 PN 结	3
11.2.2 二极管	5
11.2.3 二极管小信号等效电路	7
11.3 稳压二极管	10
11.4 双极型晶体管	11
11.4.1 结构及类型	11
11.4.2 电流放大原理	12
11.4.3 特性曲线	13
11.4.4 主要参数	15
11.4.5 晶体管小信号等效电路	16
11.5 场效应管	18
11.5.1 结型场效应管	18
11.5.2 绝缘栅场效应管	21
11.5.3 场效应管主要参数	24
11.5.4 场效应管小信号等效电路	25
思考题	25
习题	27
PROBLEMS	31
 第 12 章 晶体管交流放大电路	33
12.1 放大电路的工作原理及分析方法	33
12.1.1 放大电路的组成及基本原理	33
12.1.2 放大电路的分析方法	35
12.1.3 放大电路的性能指标	41
12.2 双极型晶体管放大电路	43

12.2.1	共发射极放大电路	43
12.2.2	共集电极放大电路——射极输出器	45
12.2.3	复合管放大电路	47
12.3	场效应管放大电路	48
12.3.1	共源极放大电路	48
12.3.2	共漏极放大电路	49
12.4	阻容耦合多级放大电路	50
12.5	放大电路中的负反馈	52
12.5.1	负反馈的概念	52
12.5.2	负反馈放大电路的联接方式	53
12.5.3	负反馈对放大电路性能的影响	57
	主要公式	58
	思考题	59
	习题	63
	PROBLEMS	68
第 13 章	集成运算放大器及其应用	71
13.1	差分放大电路	71
13.1.1	直接耦合放大电路	71
13.1.2	差分放大电路	72
13.1.3	差分放大电路的四种接法	76
13.1.4	改进型差分放大电路	77
13.2	集成运算放大器	78
13.2.1	集成运放的组成	78
13.2.2	集成运放的主要参数	79
13.2.3	集成运放的电压传输特性	80
13.2.4	理想运算放大器	80
13.3	信号运算电路	81
13.3.1	反相比例运算	81
13.3.2	同相比例运算及电压跟随器	83
13.3.3	反相加法运算	84
13.3.4	同相加法运算	84
13.3.5	减法运算	85
13.3.6	积分运算	85
13.3.7	微分运算	86
13.3.8	仪用放大器	86
13.3.9	信号运算电路的级联	87
13.4	有源滤波器	88

13.4.1	一阶有源滤波器	88
13.4.2	二阶有源滤波器	89
13.5	电压比较器	91
13.5.1	限幅器	91
13.5.2	单限电压比较器	91
13.5.3	迟滞比较器	92
13.5.4	窗口比较器	95
13.6	波形发生电路	95
13.6.1	方波发生器	95
13.6.2	三角波和锯齿波发生器	96
13.6.3	文氏桥正弦波振荡器	98
13.6.4	LC 正弦波振荡电路	101
13.7	电压-频率转换电路	103
	主要电路及公式	103
	思考题	104
	习题	105
	PROBLEMS	116
第 14 章	功率放大电路	118
14.1	概述	119
14.1.1	功率放大电路的特点	119
14.1.2	功率放大电路的组成	119
14.2	实用的功率放大电路	125
14.2.1	OTL 互补功率放大电路	125
14.2.2	OCL 互补功率放大电路	125
14.3	集成功率放大器	126
14.3.1	集成 OTL 功率放大电路 LM386	126
14.3.2	集成 OCL 功率放大电路 TDA2030A	127
	主要公式	128
	思考题	128
	习题	129
	PROBLEMS	131
第 15 章	直流稳压电源	133
15.1	整流电路	134
15.1.1	单相半波整流电路	134
15.1.2	单相全波整流电路	135
15.1.3	三相整流电路	137

15.2 滤波电路	138
15.2.1 电容滤波器	139
15.2.2 电感滤波器	141
15.2.3 π 型滤波器	141
15.3 稳压电路	141
15.3.1 串联型稳压电路	142
15.3.2 开关电源	143
15.4 集成稳压器	145
15.4.1 固定输出三端稳压器	145
15.4.2 可调输出三端稳压器	146
主要公式	147
思考题	147
习题	148
PROBLEMS	151
 第 16 章 晶闸管及其应用	 152
16.1 晶闸管	152
16.1.1 晶闸管的基本结构	152
16.1.2 晶闸管的工作原理	153
16.1.3 晶闸管的伏安特性曲线	154
16.1.4 晶闸管的主要参数及型号	154
16.2 单相可控整流电路	155
16.2.1 单相半波可控整流电路	155
16.2.2 单相桥式可控整流电路	158
16.2.3 晶闸管的保护	160
16.3 触发电路	162
16.3.1 单结晶体管	162
16.3.2 单结晶体管触发电路	165
16.4 晶闸管应用举例	166
16.4.1 晶闸管直流电动机调速系统	166
16.4.2 双向晶闸管交流调压	167
16.4.3 可关断晶闸管及逆变器	169
16.4.4 正弦波脉宽调制逆变器	172
主要公式	173
思考题	173
习题	174
PROBLEMS	176

第 17 章 数字电路基础	177
17.1 数字信号和二进制码	178
17.1.1 数字信号	178
17.1.2 二进制码	178
17.2 基本逻辑关系和门电路	180
17.2.1 与逻辑关系和与门	180
17.2.2 或逻辑关系和或门	181
17.2.3 非逻辑关系和非门	182
17.2.4 与非门、或非门和异或门	182
17.3 逻辑代数	183
17.3.1 逻辑代数基本运算规则	183
17.3.2 逻辑代数的基本定律和定理	183
17.4 逻辑函数的表示方法及化简	185
17.4.1 逻辑函数的表示方法	185
17.4.2 逻辑函数的化简	186
17.5 数字集成门电路	190
17.5.1 TTL 与非门	190
17.5.2 TTL 门电路的主要类型	192
17.5.3 TTL 门电路的特性	194
17.5.4 TTL 三态门和 OC 门	196
17.5.5 CMOS 门电路	198
主要公式	200
思考题	201
习题	202
PROBLEMS	205
第 18 章 组合逻辑电路	207
18.1 组合逻辑电路的分析	207
18.2 组合逻辑电路的设计	208
18.3 TTL 集成组合逻辑电路	210
18.3.1 数据选择器	210
18.3.2 译码器	212
18.3.3 编码器	217
18.3.4 代码转换器	219
18.3.5 加法器	220
18.3.6 乘法器	222
18.3.7 比较器	223
思考题	225

习题	226
PROBLEMS	229
第 19 章 时序逻辑电路	231
19.1 触发器	232
19.1.1 锁存器	232
19.1.2 <i>D</i> 触发器	234
19.1.3 <i>JK</i> 触发器	238
19.2 寄存器	241
19.2.1 并行数码寄存器	241
19.2.2 串行移位寄存器	241
19.2.3 集成电路移位寄存器	245
19.3 计数器	247
19.3.1 二进制加法计数器	247
19.3.2 十进制加法计数器	249
19.3.3 任意进制计数器	250
19.3.4 集成电路计数器	252
19.3.5 计数器应用举例	257
思考题	258
习题	260
PROBLEMS	266
第 20 章 多谐振荡器和单稳态触发器	268
20.1 多谐振荡器	268
20.1.1 由门电路构成的 <i>RC</i> 环形振荡器	269
20.1.2 <i>RC</i> 耦合式振荡器	269
20.1.3 石英晶体振荡器	270
20.1.4 集成电路多谐振荡器 74LS124	271
20.2 单稳态触发器	271
20.2.1 由门电路构成的单稳态触发器	271
20.2.2 集成电路单稳态触发器 74LS123	273
20.3 集成电路定时器 555	275
20.3.1 555 定时器的工作原理	275
20.3.2 用 555 构成多谐振荡器	276
20.3.3 用 555 构成单稳态触发器	278
20.3.4 用 555 构成施密特触发器	279
思考题	280
习题	281

PROBLEMS	284
第 21 章 A/D 转换器和 D/A 转换器	285
21.1 模拟多路开关	286
21.2 采样保持器	287
21.3 D/A 转换器	287
21.3.1 D/A 转换器的分类及主要技术指标	288
21.3.2 D/A 转换器原理	288
21.3.3 集成电路 D/A 转换器 DAC0832	291
21.4 A/D 转换器	295
21.4.1 A/D 转换器的分类及主要技术指标	295
21.4.2 A/D 转换器原理	296
21.4.3 集成 A/D 转换器 ADC0804	299
21.4.4 集成 A/D 转换器 ADC0809	302
思考题	304
习题	305
PROBLEMS	307
第 22 章 半导体存储器	309
22.1 只读存储器	310
22.1.1 掩模 ROM	310
22.1.2 可编程 ROM	312
22.1.3 可紫外线擦除 PROM	312
22.1.4 可电擦除的 PROM	314
22.1.5 闪速存储器	315
22.2 随机存取存储器	315
22.2.1 静态 RAM	316
22.2.2 动态 RAM	318
22.3 存储器容量的扩展	318
22.4 存储器的应用	320
思考题	321
习题	321
PROBLEMS	322
第 23 章 可编程逻辑器件	324
23.1 PLD 的电路符号及编程方式	325
23.1.1 PLD 的电路符号	325
23.1.2 PLD 的编程方式	326

23.2	简单 PLD 结构及工作原理	327
23.2.1	PROM	327
23.2.2	PLA	328
23.2.3	PAL	329
23.2.4	GAL	331
23.2.5	PLD 的编程简介	334
23.3	CPLD 的结构与工作原理	336
23.4	FPGA 的结构与工作原理	337
23.5	MAX+plus II 软件简介	339
	思考题	340
	习题	341
	PROBLEMS	343
第 24 章	模拟电路和数字电路的 Multisim 仿真	344
24.1	Multisim 的虚拟仪器	344
24.1.1	函数发生器	344
24.1.2	频率计	344
24.1.3	字发生器	346
24.1.4	逻辑分析仪	347
24.1.5	逻辑转换仪	348
24.1.6	伏安特性分析仪	349
24.1.7	失真分析仪	349
24.2	Multisim 的分析方法	350
24.2.1	直流工作点分析	351
24.2.2	交流分析	352
24.2.3	参数扫描分析	353
24.2.4	温度扫描分析	353
24.2.5	传递函数分析	354
24.3	模拟电路仿真举例	355
24.3.1	晶体管放大器仿真	355
24.3.2	有源滤波器仿真	356
24.3.3	波形发生器仿真	357
24.4	数字电路仿真举例	358
24.4.1	组合逻辑电路仿真	358
24.4.2	集成移位寄存器电路仿真	359
24.4.3	集成计数器电路仿真	360
	习题	362

附录 A 模拟电路部分常用符号	372
附录 B 数字电路部分常用符号	374
部分习题答案	376
参考文献	385

半导体器件

半导体器件是构成电子电路的基本元件。制造半导体器件的半导体材料有硅、锗等。根据掺杂元素的不同,半导体材料又分为 P 型半导体和 N 型半导体。P 型半导体和 N 型半导体制作在一起生成 PN 结,PN 结是构成各种半导体器件的基础。本章先介绍半导体的基本知识,又对二极管、稳压二极管、晶体管和场效应管的工作原理、特性曲线、主要参数以及小信号等效电路模型进行较详细的介绍,这些内容是以后学习放大电路和集成电路的基础。

关键术语 Key Terms

本征半导体 intrinsic semiconductor	场效应管 field-effect transistor (FET)
掺杂半导体 doped semiconductor	结型场效应管 junction FET(JFET)
P 型半导体 positive-type semiconductor	P 沟道 p-channel
N 型半导体 negative-type semiconductor	N 沟道 n-channel
自由电子 free electron	金属氧化物半导体场效应管 metal-oxide semiconductor FET (MOSFET)
空穴 hole	耗尽型 MOS 场效应管 depletion mode MOSFET(D-MOSFET)
PN 结 PN junction	增强型 MOS 场效应管 enhancement mode MOSFET(E-MOSFET)
二极管 diode	源极 source
稳压二极管 Zener diode	栅极 grid
双极型晶体管 bipolar junction transistor	漏极 drain
发射极 emitter	夹断电压 $U_{GS(off)}$ pinch-off voltage
集电极 collector	开启电压 $U_{GS(th)}$ threshold voltage
基极 base	跨导 transconductance
直流电流放大系数 $\beta_{DC} (h_{FE})$ DC current gain	
交流电流放大系数 $\beta_{ac} (h_{fe})$ small-signal current gain	

11.1 半导体基本知识

11.1.1 本征半导体

物质按导电能力的不同可分为导体和绝缘体,导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体,例如硅、锗、硒以及某些金属氧化物和硫化物都是半导体。用得最多的半导体是硅和锗,它们的原子结构最外层电子都是4个,如图11.1所示。

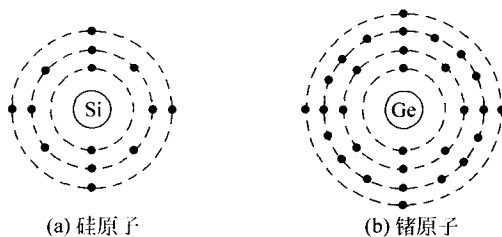


图 11.1 硅和锗的原子结构

通过一定的工艺过程可以将半导体提纯,制成晶体(例如单晶硅)。完全纯净的、具有晶体结构的半导体称为**本征半导体**。在本征半导体中,每个原子与其相邻的四个原子形成共价键结构,共有一对价电子,如图11.2所示。形成共价键后,每个原子的最外层电子都是8个,成为稳定结构。共价键中的两个价电子被紧紧束缚在共价键中,常温下很难脱离共价键成为自由电子,因此本征半导体中的自由电子很少,本征半导体的导电能力很弱。

在温度升高时,共价键中的电子也可以挣脱共价键的束缚,称为**自由电子**。在共价键中的电子成为自由电子后,共价键中就产生一个空位,称为**空穴**,如图11.3所示。自由电子的移出,也可以认为是空穴的移入。因此,在半导体理论中,认为空穴也是一种导电离子,它带一个单位的正电荷,与自由电子一样也可以运动,只是自由电子的运动是负电荷的运动,而空穴的运动相当于正电荷的运动。因此,认为半导体中同时存在着两种导电方式:电子导电和空穴导电。半导体的导电方式与金属的导电方式不同,金属只有电子导电。自由电子和空穴都称为**载流子**。

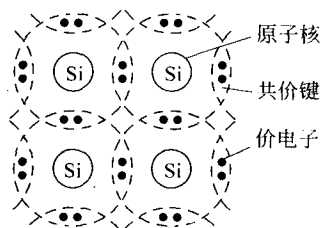


图 11.2 本征半导体的共价键结构

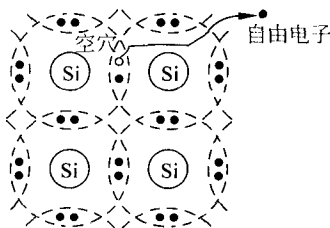


图 11.3 自由电子与空穴的形成